

Ефимов А.В., Адель Аль-Тувайни, Меньшикова Е.Д., Гаркуша Т.А.

ПОВЫШЕНИЕ АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПУТЕМ ИХ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Основой энергетики во многих странах мира, обуславливающей темпы их экономического развития, являются тепловые и атомные электростанции. В то же время, именно они как сложные технологические системы представляют собой объекты повышенной техногенной опасности. Поэтому разработаны и продолжают разрабатываться способы повышения надежности, безопасности и эффективности энергетического оборудования ТЭС и АЭС, которые, в значительной мере, опираются на диагностические процедуры.

Одним из таких способов является применение в составе АСУ ТП энергоблоков ТЭС и АЭС автоматизированных систем параметрической диагностики энергетического оборудования, основанных на математическом моделировании технологических процессов. Параметрическая диагностика позволяет установить причины отклонений параметров оборудования от нормальных значений в результате появления изменений в его конструкции: определенным значениям параметров соответствуют определенные технические состояния.

Существуют различные методы автоматизированной параметрической диагностики энергетического оборудования, базирующиеся на математическом моделировании технологических процессов. Это вероятностные методы оценки состояния оборудования на основании сравнения расчетных и нормативных значений диагностических параметров [1], методы, основанные на теории нечеткой логики в рамках идеологии экспертных систем, [2], методы, использующие линейные диагностические модели, [3, 4] и другие.

Достоверность результатов диагностирования с помощью этих методов во многом определяется уровнем адекватности математических моделей диагностируемого оборудования протекающим в нем технологическим процессам. Однако, при эксплуатации энергетического оборудования, особенно при длительном ее периоде, его технические характеристики, а, значит и параметры технологических процессов, изменяются под воздействием внешних факторов и в результате износа, или даже разрушения, отдельных конструктивных элементов. Изменение характеристик оборудования приводит, как правило, к снижению уровня адекватности математических формул, составляющих содержание моделей процессов. Например, многие из формул в интегральных методиках теплогидравлических расчетов тепломассообменного энергетического оборудования [1, 5, 6] получены экспериментальным путем и содержат числовые параметры, идентифицирующие модель и процесс по результатам экспериментов. Однако конструкции диагностируемых объектов и значения параметров технологических процессов в них могут, как было сказано выше, с течением времени отличаться от условий экспериментов, в которых были получены соответствующие расчетные формулы. Поэтому для повышения достоверности результатов параметрической диагностики необходимо проводить идентификацию математических моделей процессов до начала диагностирования, иными словами, корректировать их на основании анализа измеряемых

$$W(\Lambda_0) = f'(\Lambda_0) = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \lambda_1} & \frac{\partial f_1}{\partial \lambda_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial \lambda_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial \lambda_1} & \frac{\partial f_2}{\partial \lambda_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial \lambda_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_m}{\partial \lambda_1} & \frac{\partial f_m}{\partial \lambda_2} & \dots & \frac{\partial f_m}{\partial \lambda_n} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Для случая $m < n$, когда число уравнений меньше числа идентифицируемых параметров $\lambda_j, j = \overline{1, n}$, разработан следующий подход. Вместо матрицы $W(\Lambda_0) = f'(\Lambda_0)$ рассматривается матрица $W_1(\Lambda_0)$, составленная из модулей $|f'(\Lambda_0)|$:

$$W_1(\Lambda_0) = |f'(\Lambda_0)| = \begin{pmatrix} \left| \frac{\partial f_1}{\partial \lambda_1} \right| & \left| \frac{\partial f_1}{\partial \lambda_2} \right| & \dots & \left| \frac{\partial f_1}{\partial \lambda_n} \right| \\ \left| \frac{\partial f_2}{\partial \lambda_1} \right| & \left| \frac{\partial f_2}{\partial \lambda_2} \right| & \dots & \left| \frac{\partial f_2}{\partial \lambda_n} \right| \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \left| \frac{\partial f_m}{\partial \lambda_1} \right| & \left| \frac{\partial f_m}{\partial \lambda_2} \right| & \dots & \left| \frac{\partial f_m}{\partial \lambda_n} \right| \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Используя матрицу $W_1(\Lambda_0) = |f'(\Lambda_0)|$, формируется квадратная матрица Якоби $W_2(\tilde{\Lambda}_0)$ размерности $m_1 \times m_1$, столбцы которой содержат элементы с максимальными значениями модулей производных $\max_{i,j} \left| \frac{\partial f_i}{\partial \lambda_j} \right|$, $i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$, а определитель не равен нулю. При этом $m_1 \leq m$ и $\Lambda_0 = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{m_1})^T$ (с учетом соответствующего изменения нумерации параметров λ_j). То есть, в этом случае, идентификация модели технологических процессов осуществляется с использованием матрицы $W_2(\tilde{\Lambda}_0)$.

При $m > n$, то есть когда число уравнений больше числа идентифицируемых параметров $\lambda_j, j = \overline{1, n}$, применяется аналогичный подход, как и для случая $m < n$, с той лишь разницей, что матрица $W_2(\tilde{\Lambda}_0)$ формируются из строк матрицы $W(\Lambda_0) = f'(\Lambda_0)$.

Если производные $\frac{\partial f_i}{\partial \lambda_j}$ в матрице Якоби трудновычислимы в аналитическом

виде, можно использовать существующие программные реализации моделей (1) [1] и с их помощью вычислять производные приближенно по формуле:

$$\frac{\partial f_i}{\partial \lambda_j} = \frac{1}{2\Delta\lambda_j} (f(X, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_j + \Delta\lambda_j, \dots, \lambda_n, G) - f(X, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_j - \Delta\lambda_j, \dots, \lambda_n, G)). \quad (7)$$

Таким образом, путем применения итерационного процесса (4) для нахождения значений идентифицируемых параметров, можно осуществить идентификацию математических моделей технологических процессов в энергетическом оборудовании ТЭС и АЭС, что позволит повысить адекватность моделей, а значит, и достоверность диагностических выводов при решении задач параметрической диагностики.

Литература

1. Палагин А.А., Ефимов А.В., Меньшикова Е.Д. Моделирование функционального состояния и диагностика турбоустановок. - К.: Наукова думка, 1991. – 201 с.
2. Экспертные системы. Принцип работы и примеры/ Брукинг А., Джонс Р., Кокс Ф. и др. Под редакцией Форсайта Р.// М.: Радио и связь, 1987. – 547 с.
3. Зарицкий С.П. Диагностика газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом. – М.: Недра, 1987. - 198 с.
4. Ефимов А.В., Зевин С.Л., Адель Аль-Тувайни. Метод построения диагностических моделей оборудования энергоустановок // Вестник НТУ “ХПИ”. Харьков: НТУ “ХПИ”. - 2002. – Вып.13. – С.153-157.
5. Каневец Г.Е. Обобщенные методы расчета теплообменников. - К.: Наукова думка, 1979. - 352 с.
6. Шкловер Г.Г., Мильман О.О. Исследование и расчет конденсационных устройств паровых турбин.– М.: Энергоатомиздат, 1986. - 270 с.
7. Воеводин В.В., Кузнецов Ю.А. Матрицы и вычисления. – М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1984. - 320 с.
8. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. - М.: Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1970. - 664 с.

УДК 621.165

Єфімов О.В., Адель Аль-Тувайні, Меньшикова О.Д., Гаркуша Т.А.

ПІДВИЩЕННЯ АДЕКВАТНОСТІ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ В ПРОЦЕСІ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ШЛЯХОМ ЇХ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

У статті розглянута задача ідентифікації математичних моделей технологічних процесів в енергетичному устаткуванні ТЕС і АЕС при вирішенні задач параметричної діагностики. Описано принципові сторони рішення задачі на основі застосування ітераційного методу Ньютона для рішення нелінійних систем алгебраїчних рівнянь.